

مدل تخمین زمان انتظار عابران پیاده در تقاطعات چراغ‌دار شهری

مقاله علمی - پژوهشی

علیرضا نادری لردجانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
امین میرزا بروجردیان*، دانشیار، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: boroujerdian@modares.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

صفحه ۲۶۸-۲۵۷

چکیده

عابران پیاده آسیب‌پذیرترین قشر کاربران راه هستند. درصد بالایی از تصادفات عابران پیاده در تقاطعات چراغ‌دار شهری رخ می‌دهد. با وجود تفکیک حرکت عابران از وسایل نقلیه موتوری در تقاطعات چراغ‌دار شهری، آمار تصادفات و صدمات بدنی عابران پیاده در تقاطعات چراغ‌دار قابل توجه است. مهم‌ترین عاملی که موجب تداخل عابر پیاده و وسایل نقلیه می‌گردد، حرکت عابران پیاده در زمانی است که چراغ‌دار عابر پیاده قرمز است و وسایل نقلیه در تقاطع در حال حرکت هستند. هدف این پژوهش تخمین زمان انتظار عابران پیاده یا به عبارت دیگر درک آستانه تحمل عابران منتظر در تقاطع چراغ‌دار شهری و عوامل مؤثر بر آن است. به منظور ارزیابی، اطلاعات ۵۰۴ عابر پیاده در یک تقاطع در شهر تهران از طریق ناظر میدانی و ویدئوگرافی برداشت شد. سپس یک مدل رگرسیون خطی برای تخمین زمان انتظار عابران پیاده در تقاطع توسعه داده شد. پس از بررسی مدل رگرسیون از لحاظ آماری و شهودی مشخص گردید که متغیرهایی همچون جنسیت، سن، همراه داشتن توشه، تعداد عابران منتظر در تقاطع، تعداد گروه عابران و روز تعطیل بر زمان انتظار عابران پیاده اثرگذار هستند. از میان این متغیرها، متغیر روز تعطیل اثرگذارترین متغیر بر زمان انتظار عابر پیاده بود. همچنین مشاهده شد که یک‌سوم از عابرانی که به تقاطع وارد می‌شدند، بدون توقف از تقاطع عبور می‌کنند. سایر عابران نیز تمایل ندارند که زمان انتظار بیشتر از ۳۵ تا ۵۵ ثانیه را تجربه کنند. نتایج این تحقیق به طراحی تقاطعات چراغ‌دار شهری باتوجه به آستانه تحمل عابران پیاده کمک خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: زمان انتظار عابر پیاده، ایمنی عابر پیاده، رفتار عابر پیاده

۱- مقدمه

راه‌ها، موضوع مورد توجه کارفرمایان و طراحان سیستم‌های حمل‌ونقل، سطح سرویس مناسب راه است. یکی از جنبه‌های اجتناب‌ناپذیر هر سفر، پیاده‌روی است. همه کسانی که با وسیله نقلیه موتوری سفر می‌کنند مجبورند بخشی از سفر خود را به صورت پیاده انجام دهند. عابران پیاده به دلیل عدم وجود حفاظ و تنها تمرکز طراحی جاده‌ها و خیابان‌ها بر روی حرکت

ایمنی ترافیک یکی از مهم‌ترین اصول طراحی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است، به طوری که در کشورهای توسعه‌یافته همگام با توسعه سایر بخش‌های مهندسی ترافیک، موضوع ایمنی نیز مورد توجه قرار گرفته است. این در حالی است که در کشورهای درحال توسعه آن‌چنان که باید، ایمنی ترافیک جای مهمی در میان تصمیم‌گیران و مسئولان ندارد. در طراحی و برنامه‌ریزی ترافیک

که می‌تواند منجر به تخلف عابران شود و خطر برخورد بین وسایل نقلیه و عابران را افزایش دهد. تخلفات عابران پیاده و میزان احترام آن‌ها به قوانین و علائم ترافیکی، به آموزش‌های ترافیکی، فرهنگ، قوانین بازدارنده و زیرساخت‌های ترافیکی هر کشور وابسته است. از طرفی، اندازه‌گیری فرهنگ تا حدودی غیرممکن است؛ زیرا فرهنگ یک متغیر پنهان و کیفی است و برای سنجش رفتار عابران پیاده باید عواملی که بر رفتار آن‌ها تأثیرگذار هستند، اندازه‌گیری شوند. به همین دلیل، با شناخت عواملی که بر تخلفات عابران پیاده تأثیرگذار هستند و در نظر گرفتن آن‌ها در برنامه‌ریزی‌های آتی، می‌توان تصادفات و تلفات عابران پیاده را کاهش داد. از طرفی، با پیش‌بینی رفتار عابران، می‌توان از برخورد وسایل نقلیه و عابران جلوگیری کرد. اهداف این پژوهش در راستای شناسایی رفتار عابران پیاده در تقاطعات چراغ‌دار شهری عبارتند از:

- تعیین متغیرهای معنی‌دار که بر رفتار عابر پیاده در هنگام عبور تقاطعات چراغ‌دار اثرگذار هستند
- توسعه یک مدل برای تخمین زمان انتظار عابران پیاده در تقاطعات چراغ‌دار شهری
- تعیین اثرگذاری عابران منتظر در تقاطع بر رفتار سایر عابران

۲- پیشینه تحقیق

مطالعات قبلی نشان داده است که زمان انتظار نیز یک پارامتر مهم در طراحی علائم ترافیکی است. در یک مطالعه مشخص گردید ۵۰ درصد عابران پیاده برای سبز شدن چراغ عابر پیاده در تقاطع بیشتر از ۴۰ ثانیه صبر نکردند (W. Wang et al., 2011). در یک مطالعه با هدف ارزیابی ایمنی عابران پیاده مشخص شد که زمان انتظار عابر پیاده در تقاطع بدون چراغ از ۱ تا ۶ ثانیه متغیر است (Jain et al., 2014). با بررسی سازوکار عبور عابران پیاده از تقاطع مشخص شد که میانگین زمان انتظار برای عبور از یک تقاطع چراغ‌دار ۴۸٫۲ ثانیه بود (B. Li, 2013). در یک مطالعه که بر روی یازده تقاطع در شهر شارجه امارات انجام شد، مشخص شد با افزایش زمان سبز شدن چراغ عابر، تمایل عابران برای حرکت غیر مجاز از تقاطع بیشتر می‌شود (Bendak et al., 2021).

برخی از مطالعات پیشین نیز به تأثیر عوامل مختلف بر زمان انتظار عابران و اقدام عابر به عبور غیرمجاز از تقاطع پراختند. در یک پژوهش جامع برای ارزیابی ایمنی عابران پیاده در کشور

و سرعت وسایل نقلیه موتوری، قشری از کاربران راه هستند که هر سال با تعداد زیادی تلفات جرحی و فوتی مواجه می‌شوند. آن‌ها به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر خود و عدم توانمندی در مقابل حوادث، از مخاطرات بیشتری در مقایسه با سایر کاربران راه درگیر می‌شوند. همچنین، در طراحی بسیاری از تقاطعات، توجه کافی به عابران پیاده صورت نمی‌گیرد. عدم فراهم کردن تسهیلات مناسب برای عابران پیاده و عدم تنظیم مناسب فازهای چراغ راهنما بر اساس آستانه تحمل عابران، باعث تخلفات عابران و تهدید ایمنی آنها می‌شود. تصادفات مرتبط با عابران پیاده در سراسر جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به دلیل تراکم جمعیتی بالا، رشد سریع شهرنشینی و عدم رعایت قوانین ترافیکی توسط رانندگان و عابران، یکی از مسائل عمده ایمنی ترافیکی است. عدم پایبندی رانندگان وسایل نقلیه در گذرگاه‌های عابر پیاده، عابران را مجبور می‌کند به جریان ترافیکی نزدیک شده و جلوی وسایل نقلیه را بگیرند تا عابران موفق به گرفتن حق تقدم شوند (Hamed, 2001). بر اساس گزارش مرکز کنترل و پیشگیری بیماری‌های آمریکا، در سال ۲۰۲۲ حدود ۷۰۰۰ عابر پیاده در تصادف با وسایل نقلیه موتوری جان خود را از دست دادند. به بیان دیگر هر ۷۵ دقیقه یک عابر پیاده در تصادفات جان خود را از دست داد (*WISQARSTM Web-Based Injury Statistics Query and Reporting System, 2022*). جلوگیری از تصادفات عابران پیاده، همانند سایر تصادفات ترافیکی، نباید به عنوان یک مسئله غیرقابل اجتناب تلقی شود؛ زیرا قابل پیش‌بینی و قابل پیش‌گیری است. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، طیف گسترده‌ای از خطرات و عواملی وجود دارد که عابران پیاده را تهدید می‌کنند. این خطرات شامل رفتار رانندگان وسایل نقلیه موتوری، رانندگی با سرعت بالا به خصوص پس از مصرف مشروبات الکلی، کمبود زیرساخت‌ها مانند میانه‌ها در خیابان‌ها و خطوط عابر پیاده در تقاطعات، و طراحی نامناسب سپر جلوی وسیله نقلیه می‌باشد که در صورت برخورد با عابران، باعث جراحت یا فوت آنها می‌شود (World Health Organization, 2004). در تقاطعات چراغ‌دار، فاز حرکتی عابران پیاده از وسایل نقلیه جدا شده است، بنابراین برخورد بین عابران و وسایل نقلیه تنها در صورتی رخ خواهد داد که یکی از طرفین در فاز غیرمجاز حرکت کند. با این حال، به دلیل عدم توجه کافی به عابران پیاده در طراحی تقاطعات چراغ‌دار، ممکن است زمان انتظار عابران پیاده بیش از حد طولانی باشد،

عبور عابران انجام شد، مشاهده شد که هنگام عبور از یک خیابان دوطرفه، عابران پیاده‌ای که با گروه بزرگ‌تری وارد محوطه می‌شوند، نسبت به عابرانی که به تنهایی می‌آیند یا با گروه کوچک‌تری می‌آیند، کمتر منتظر می‌مانند (Y. Zhang et al., 2020). در مطالعه‌ای که درباره علت روان‌شناسی تخلف عابران پیاده انجام شد، مشاهده شد که عابرانی که به صورت منفرد تردد می‌کنند از قوانین بیشتر تبعیت می‌کنند، اما وقتی به صورت دست جمعی حرکت می‌کنند و یک نفر از قوانین تخطی می‌کند بقیه افراد با او همراه می‌شوند و دلیل ذهنی آن‌ها این است که «قانون تعداد زیادی از تخطی‌گران را مجازات نمی‌کند، پس از فرد تخطی کننده تبعیت کن». طبق نتایج به دست آمده از تحقیق هان و همکارش ۲۵/۱۲ درصد افراد در پیروی از دیگران از قوانین تخطی می‌کنند. ۳۰/۲۹ درصد افراد نیز خیال می‌کنند که عبور ایمنی از خیابان می‌تواند داشته باشد (Han & Huo, 2020). در مطالعه شکرگذار در ایران نیز یکی از علل تخلفات عابران دنباله‌روی از سایر عابران معرفی شد، همینطور مشاهده شد عابرانی که به صورت گروهی حرکت می‌کنند نسبت به سایرین زمان انتظار کمتری را تحمل می‌کنند و زودتر از خیابان به صورت غیر قانونی عبور می‌کنند (شکرگذار، دهشیری و اکبرزاده، ۲۰۲۰).

در برخی پژوهش‌ها نشان داده شد که رفتار عابران سالمند هنگام عبور از عرض راه با جوانان متفاوت است (Gorrini et al., 2018). پژوهشی که در کشور بلژیک انجام شد مشاهده شد عابران سالمند زمان بیشتری را پشت خط عابر پیاده منتظر می‌مانند (Diependaele, 2019). در یک مطالعه در چین، مشاهده شد احتمال تخلف از چراغ قرمز برای کودکان کمتر از ۱۱ سال نه تنها بسیار بالاست بلکه جراثحت کودکان در تصادفات به عنوان عابران پیاده، در مقایسه با عابران رده سنی بین ۲۶ تا ۴۵ سال بسیار شدیدتر است. سطح پایین دانش ایمنی ترافیک و توانایی پایین در مواجهه با وضعیت ترافیک جاری، عوامل اصلی خطرناک بودن تخطی از چراغ قرمز توسط کودکان است. همچنین عابران بین ۱۲ تا ۲۵ سال بیشترین احتمال تخطی از چراغ قرمز را دارا می‌باشند (J. Wang et al., 2020). کایو نیز در یک پژوهش در کشور چین نتیجه گرفت احتمال تخلف از علائم در جوانان بیشتر از سالمندان است (Cao et al., 2017). پاترا و همکارانش مشاهده کردند که تحصیلات عابران، عاملی تعیین کننده در تبعیت و عدم تبعیت عابران پیاده از قوانین است، به طوری که افراد با تحصیلات بالا بیشتر از

هند، مشخص شد درصد مشارکت مردان نسبت به زنان در تخلفات ترافیکی بیشتر است (Mukherjee & Mitra, 2020). در یک مطالعه که جهت مشخص کردن تاثیر جنسیت بر تصمیم‌گیری عابران برای عبور ناایمن انجام شد، با شبیه‌سازی محیط عابران پیاده و نمایش خودروهای در حال عبور، از رفتار عابران فیلم‌برداری کردند. آن‌ها با توجه به همبستگی آماری بین متغیرها و مدل رگرسیون خطی مشاهده کردند مردان نسبت به زنان بیشتر به صورت غیرمجاز از عرض خیابان عبور می‌کنند (Holland & Hill, 2010). در مطالعه‌ای در کشور هند با هدف مشخص کردن رفتار عابران هنگام عبور از تقاطع چراغ‌دار انجام شد، مشاهده گردید که مردان نسبت زنان تمایل بیشتری برای سرپیچی از قوانین ترافیکی دارند (Marisamynathan & Vedagiri, 2018).

یک پژوهش در کشور چین با هدف مطالعه انطباق رفتار عابران با قوانین ترافیکی از مدل لججیت دوتایی و چندتایی برای پیش‌بینی رفتار عابران استفاده شد. پژوهشگران مشاهده کردند رفتار زنان نسبت به مردان انطباق بیشتری با قوانین ترافیکی دارد (Zafri et al., 2020). حقیقی و همکارانش در مطالعه‌ای در که در شهر تبریز انجام شد دریافتند زنان نسبت به مردان رفتار ایمن‌تری دارند (Haghighi et al., 2021). نتایج برخی مطالعات نیز مغایر با مطالعات بیان شده در خصوص جنسیت است. پاترا و همکارانش مشاهده کردند زنان نسبت به مردان ریسک بیشتری می‌پذیرند و گذر از سطح خیابان را به پل عابر پیاده ترجیح می‌دهند (Patra et al., 2020).

در مطالعه‌ای که مهدی شکرگذار و همکارانش در ایران انجام دادند، مشاهده کردند زنان زمان انتظار کمتری را نسبت به مردان تجربه کردند (شکرگذار و همکاران، ۲۰۲۰).

در برخی پژوهش‌ها مشاهده شد تلفات ترافیکی ارتباطی با جنسیت عابران پیاده ندارد (G. Zhang et al., 2016).

با حرکت کردن به صورت گروهی، تصمیم عابر می‌تواند تحت تاثیر تصمیم سایر عابران پیاده قرار بگیرد. به همین جهت در بسیاری از مطالعات، متغیر گروه به عنوان متغیر تاثیرگذار بر زمان انتظار عابر مورد بررسی قرار گرفت. در یک پژوهش در کشور مکزیک، مشاهده شد حرکت عابران به صورت گروهی مهم‌ترین عامل اثرگذار بر رفتار عابران پیاده در هنگام عبور از تقاطع است (Navarro-Rosas & Obregón-Biosca, 2022). طی پژوهشی که برای تخمین زمان انتظار عابران هنگام

بیشتر پژوهش‌های پیشین بررسی متغیرهای اثرگذار بر رفتار عابران را مورد توجه قرار داده‌اند. در پژوهش‌های پیشین، به ویژه در ایران، تخمین مدت زمان انتظار عابران یا به عبارت دیگر، آستانه تحمل عابران برای سبز شدن چراغ عابر، به درستی مورد بررسی قرار نگرفته است. ارزیابی حداکثر زمانی که عابران برای سبز شدن چراغ عابر پیاده منتظر می‌مانند و شناسایی عوامل موثر بر این پارامتر، از اهداف این پژوهش است.

۳- روش تحقیق

در این قسمت پس از تشریح جمع‌آوری اطلاعات، به تحلیل داده‌ها و ساخت مدل رگرسیون پرداخته شد.

۳-۱- جمع‌آوری اطلاعات

جهت مدل‌سازی، تقاطع فاطمی در شهر تهران برای جمع‌آوری داده‌ها انتخاب شد. این تقاطع در نزدیکی بوستان لاله (با کاربری تفریحی)، بازار کتاب‌فروشی‌های میدان انقلاب و دانشگاه‌های تهران و تربیت‌مدرس (با کاربری علمی و تحصیلی) قرار دارد و همچنین در این منطقه ساختمان‌هایی با کاربری مسکونی، تجاری و اداری واقع شده‌اند. به علت وجود بوستان لاله با کاربری تفریحی، بازار کتاب‌فروشی‌ها و دانشگاه‌های با کاربری علمی و تحصیلی در نزدیکی تقاطع، عابران پیاده ممکن است به منظور تفریح، خرید، تحصیل یا انجام امور مرتبط با دانشگاه‌ها از این تقاطع عبور کنند. همچنین برخی عابران ممکن است به منظور رسیدن به خانه، خرید ملزومات و یا انجام امور اداری از این تقاطع عبور کنند؛ بنابراین، هدف سفر عابران پیاده در این تقاطع می‌تواند متنوع و گوناگون باشد. جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از روش ناظر میدانی و فیلم‌برداری با تلفن همراه در ۵ روز متوالی بین ساعت ۱۷ تا ۱۸ در شرایط آب‌وهوای آفتابی انجام شد.

سایرین از علایم تبعیت می‌کنند. همچنین مقصد سفر بر رفتار عابران اثرگذار است به طوری که افرادی که سفرشان کاری است در تخطی از علایم بیشتر مشارکت می‌کنند (Patra et al., 2020). ژانگ و همکارانش نیز دریافتند افراد دوره گرد کمتر از علایم تخطی می‌کنند و رفتار عبور ایمن‌تری دارند (W. Zhang et al., 2016).

موجرخه و همکاران در هند مشاهده کردند عابران برای رسیدن به سرویس‌های حمل‌ونقل عمومی بسیار شتاب‌زده عمل می‌کنند. ایشان نتیجه گرفتند شانس تخلف از قوانین توسط عابران، برای رسیدن به وسایل حمل‌ونقل عمومی به صورت معناداری افزایش می‌یابد. ایشان همچنین نتیجه گرفتند، عابرانی که روی سرشان بار حمل می‌کنند به صورت معناداری شانس تخلف از قوانین افزایش می‌یابد (Mukherjee & Mitra, 2020). برخی از پژوهشگران اثر زمان را بر رعایت‌نکردن قوانین توسط عابران پیاده مورد مطالعه قرار دادند. ژانگ و همکارانش طی مطالعه‌ای در کشور چین دریافتند که تخطی عابران از چراغ راهنمایی در طول روز بیشتر و هنگام شب و غروب تعداد تخلفات عابران از علائم راهنما کمتر است (W. Zhang et al., 2016).

ژانگ و همکاران طی پژوهشی که در کشور آمریکا انجام دادند مشاهده کردند نرخ تخلفات عابران در روزهای تعطیل و روزهای آخر هفته نسبت به سایر روزها بیشتر است (Y. Zhang & Wu, 2013).

وضعیت جوی نیز از دیگر عواملی است که می‌تواند بر رفتار عابران اثرگذار باشد. در بررسی رفتار عابر پیاده در هوای سرد زمستان در تورنتو کانادا مشاهده شد که در سرمای زمستان، سرعت متوسط حرکت عابران کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده شد در هوای سرد و برفی تعداد عابرانی که از علائم ترافیکی تبعیت می‌کنند از ۱۳ درصد به ۳ درصد کاهش می‌یابد (Y. Li & Fernie, 2010).



شکل ۱. تصویر تقاطع فاطمی

۲-۳- تحلیل داده‌ها

داده‌ها رسم شدند. در مرحله دوم، همبستگی پیرسون بین داده‌ها محاسبه شد. با استفاده از ضریب همبستگی و مقدار آن، می‌توان ارتباط معناداری بین متغیرهای مستقل را بررسی و تأثیر متغیرهای مؤثر بر زمان انتظار عابر پیاده را به طور تجربی مورد بررسی قرار داد. در مرحله سوم، پس از ساخت مدل، معناداری ضرایب و آماره t مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل داده‌ها در سه مرحله انجام شد. در مرحله اول، برای دستیابی به درک جامع از توزیع و الگوی داده‌ها، تحلیل توصیفی انجام شد. در این راستا، فراوانی داده‌ها، میانگین و انحراف معیار مشخص شدند و نمودارهای مربوط به پراکندگی و فراوانی

۳-۳- مدل‌سازی

پس از تحلیل داده‌ها و انتخاب متغیرهای اثرگذار، چندین مدل رگرسیون خطی چند متغیره توسعه داده شد و بهترین مدل از نظر معناداری متغیرها و R^2 جهت تخمین زمان انتظار عابر پیاده در تقاطع انتخاب گردید. مدل رگرسیون خطی چند متغیره جهت

پس از تحلیل داده‌ها و انتخاب متغیرهای اثرگذار، چندین مدل رگرسیون خطی چند متغیره توسعه داده شد و بهترین مدل از نظر معناداری متغیرها و R^2 جهت تخمین زمان انتظار عابر پیاده در تقاطع انتخاب گردید. مدل رگرسیون خطی چند متغیره جهت

(۱)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon_i$$

که در رابطه (۱)، Y متغیر وابسته، β_p ضرایب تخمین زده شده و X_p نیز متغیرهای مستقل هستند.

متغیرها وجود ندارد. همچنین با رسم نمودار مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مجذور باقیمانده‌ها و استفاده از آزمون Breusch-Pagan، تأیید شد که مدل دارای واریانس‌های ناقص منظم است. با وجود واریانس‌های ناقص منظم، ادعای بهینگی تخمین‌گرها در مدل BLUE⁶ برقرار نیست و تخمین پارامترها با خطا همراه است. به منظور حل این مشکل، از مدل با واریانس‌های استوار (Robust) استفاده شد. با استفاده از این مدل، تأثیر نواحی ناقص منظم بر تخمین‌ها کاهش یافت. همچنین، سایر فرض‌های موردنیاز برای توسعه مدل MLR نیز برقرار است. باتوجه به اینکه همه این فرض‌ها برآورده شده‌اند، مدل MLR انتخاب شده برای تخمین زمان انتظار می‌توان ادعا کرد مدل BLUE است.

برای توسعه یک مدل رگرسیون خطی چندمتغیره قابل قبول، باید پنج فرض برآورده شود. یکم، نمونه‌برداری باید به صورت تصادفی انجام شود تا نمونه‌ها نماینده‌ای مناسب از جامعه باشند. دوم، باید یک رابطه خطی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل فرض شود، به این معنی که تغییر در متغیرهای مستقل باعث تغییرات خطی در متغیر وابسته شود. سوم، فرض صفر بودن میانگین باقیمانده‌ها (mean of residuals) است^۷. این فرض بیان می‌کند که میانگین باقیمانده‌ها برابر با صفر است، به عبارت دیگر، خطای مدل برای داده‌های آموزشی برابر با صفر است. این فرض از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا نشان می‌دهد که مدل به خوبی منطبق بر داده‌هاست و هیچ انحرافی از مدل در پیش‌بینی داده‌ها وجود ندارد. اگر فرض صفر بودن میانگین باقیمانده‌ها برقرار نباشد، این ممکن است نشان‌دهنده وجود الگوهای سیستماتیک در خطاهای مدل باشد و نتایج تحلیل غیرقابل قبول و تفسیر صحیح نخواهد بود. چهارم، فرض می‌شود که هیچ مسئله هم‌خطی بین متغیرهای مستقل وجود ندارد^۸، به این معنی که هیچ تعامل غیرخطی یا تأثیر متقابل بین متغیرها رخ نمی‌دهد. پنجم، فرض می‌شود که واریانس خطاها صفر است و به سایر متغیرها وابسته نیست^۹، به این معنی که هیچ الگوی ناقص منظمی در باقیمانده‌ها وجود ندارد. برای اطمینان از عدم وجود هم‌خطی بین متغیرها، از شاخص تورم واریانس‌ها استفاده شد. باتوجه به اینکه مقادیر VIF برای همه متغیرها کمتر از ۲ بود، می‌توان نتیجه گرفت که هم‌خطی بین

۴- بحث

در این بخش ابتدا داده‌ها تحلیل شده و عوامل مؤثر بر زمان انتظار عابر پیاده بررسی شد.

۴-۱- تحلیل توصیفی داده‌ها

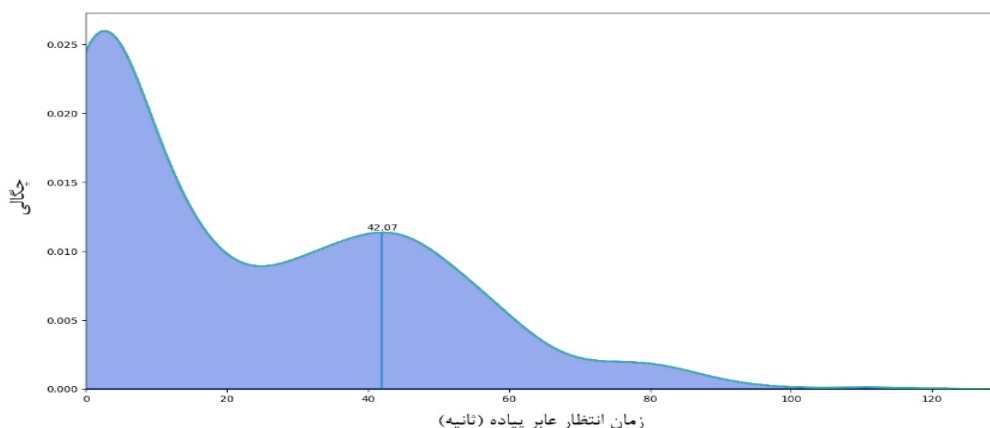
در این پژوهش مشاهده شد یک‌سوم عابران هنگام رسیدن به تقاطع، بدون توجه به وضعیت چراغ عابر پیاده اقدام به عبور از تقاطع می‌کنند در شکل ۲ چگالی زمان انتظار عابر پیاده رسم شده است، مشخص شد عابرانی که منتظر می‌مانند تا چراغ عابر

دسته بندی شده است که معیار مقایسه متغیر جوان است. همراه داشتن توشه نیز بر سرعت عابران پیاده می تواند اثرگذار باشد به همین دلیل عابرانی که توشه همراه داشتند به عنوان یک متغیر مجازی وارد مدل شد. در این پژوهش، مشابه تمامی مطالعات پیشین، متغیر جنسیت نیز به عنوان یک متغیر مؤثر بر رفتار عابر پیاده در نظر گرفته شده است. همچنین، روزهای تعطیل که می تواند هدف سفر عابران را تحت تأثیر قرار دهد، به عنوان یک متغیر نیز به مدل افزوده شده است. متغیر همراه داشتن کودک نیز از لحاظ آماری و شهودی معناداری کافی نداشت و از مدل سازی حذف شد.

پایه سبز شود، حداکثر ۴۲ ثانیه صبر می کنند و پس از آن اقدام به عبور از تقاطع می کنند. بنابراین تقاطع های مشابه تقاطع مورد مطالعه، طراحی تسهیلات ترافیکی باید به گونه ای باشد که نیاز به انتظار بیش از ۴۲ ثانیه عابران ایجاد نشود.

۴-۲- عوامل موثر

در جدول ۱، متغیرهای اثرگذار بر زمان انتظار و فراوانی هر متغیر آورده شده است. متغیر سن به صورت مجازی در نظر گرفته شد و در چهار گروه نوجوان، جوان، میانسال و سالمند



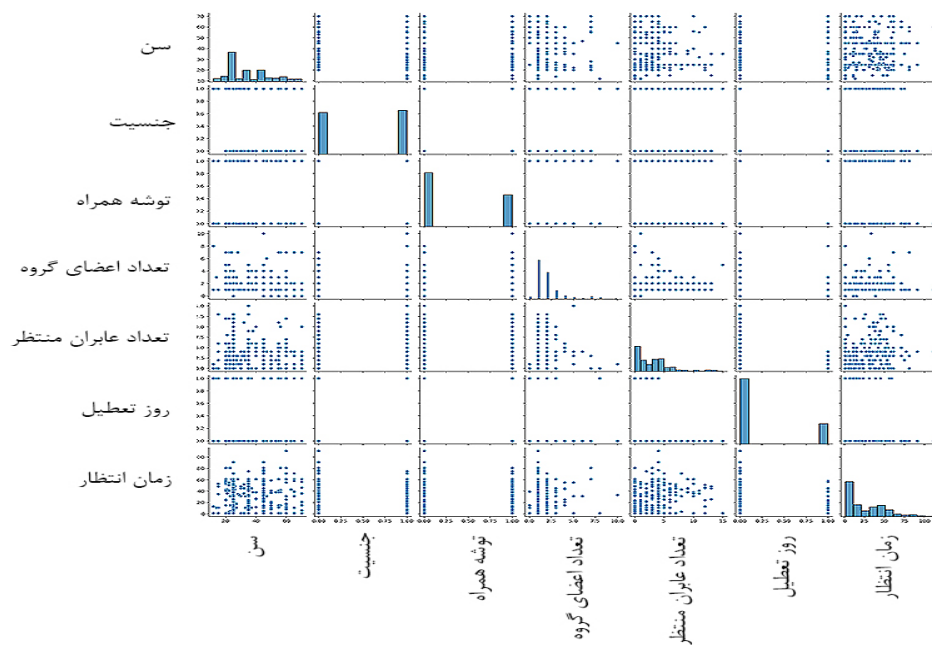
شکل ۲. چگالی زمان انتظار عابران پیاده

جدول ۱. فراوانی متغیرهای اثرگذار بر زمان انتظار عابران پیاده

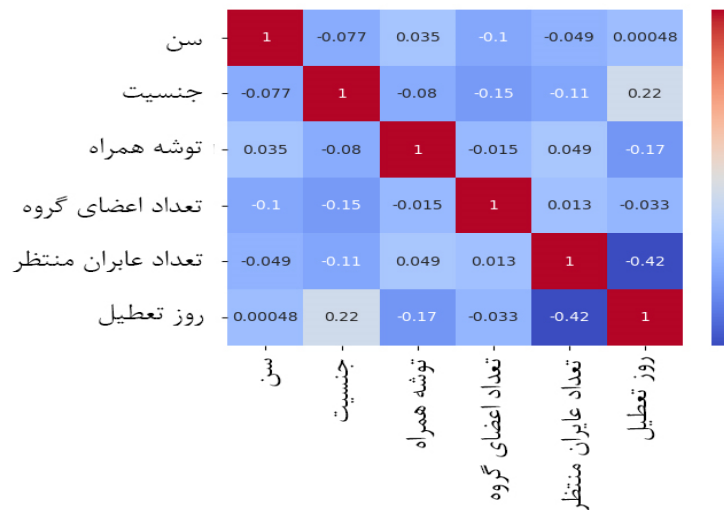
متغیر	علامت اختصاری	(۰)	(۱)
نوجوان (نوجوان=۱، غیرنوجوان=۰)	Tn	۴۸۴	۲۰
میانسال (میانسال=۱، غیرمیانسال=۰)	Md	۳۳۹	۱۶۵
سالمند (سالمند=۱، غیرسالمند=۰)	Ol	۳۹۸	۱۰۶
جنسیت (مرد=۱، زن=۰)	Gn	۲۴۶	۲۵۸
توشه (حامل توشه=۱، در غیر اینصورت=۰)	Lg	۳۱۷	۱۷۸
روز تعطیل (تعطیل=۱، غیر تعطیل=۰)	Hd	۳۸۴	۱۲۰

به داده ها در شکل (۳) به نمایش درآمده است. ضریب همبستگی پیرسون به منظور ارزیابی ارتباط آماری بین متغیرهای مختلف محاسبه شد و در شکل (۴) به صورت نمودار حرارتی نمایش داده شد. مقادیر ضریب همبستگی آماری بین متغیرها به مقدار کمی محاسبه شده اند و از تحلیل نتایج می توان نتیجه گرفت که متغیرها به طور آماری مستقل از یکدیگر هستند.

برای درک بهتر پراکندگی داده ها، الگوها و خوشه ها، از نمودار جفتی (Pair plot) بهره گرفته شده است. در این نمودار، فراوانی هر متغیر در قطر اصلی نمایش داده می شود و سایر نمودارها نشان دهنده پراکندگی داده های هر متغیر نسبت به سایر متغیرها هستند. با استفاده از این نمودار، می توان به طور مؤثرتری وابستگی متقابل متغیرها را درک کرد. نمودار جفتی مربوط



شکل ۳. پراکندگی هر متغیر بر اساس سایر متغیرها



شکل ۴. نمودار حرارتی همبستگی بین متغیرها

ساخت مدل

مدل رگرسیون خطی توسعه داده شد. در این راستا، چندین مدل مختلف ایجاد شد و در نهایت مدلی که نتایج آن در جدول (۲) نمایش داده شده است، بر اساس معناداری آماری و شهودی

متغیرهایی که ارتباط معناداری با متغیر وابسته دارند، به عنوان متغیرهای اثرگذار بر زمان انتظار عابران پیاده در نظر گرفته شدند. پس از بررسی همبستگی آماری متغیرها با متغیر وابسته،

عبور از تقاطع به دلیل وزن و حجم باری که با خود دارند، با مشکلاتی مانند خستگی و کندی در حرکت روبه‌رو شوند. این باعث می‌شود تا در زمان انتظار برای سبز شدن چراغ‌های راهنمایی، مدت‌زمان بیشتری را صرف کنند؛ بنابراین، در مدل رگرسیون خطی، داشتن توشه همراه به طور معناداری تأثیر می‌گذارد و مدت‌زمان انتظار عابران را بیشتر می‌کند. نتایج این تحقیق با پژوهش (Mukherjee & Mitra, 2020) مطابقت دارد. حرکت گروهی عابران به علت تصمیم جمعی نیز می‌تواند بر زمان منتظر ماندن عابران اثرگذار باشد. نتایج به دست آمده از مدل رگرسیون خطی نشان می‌دهد با افزایش اندازه گروه عابران زمان انتظار افزایش می‌یابد. از نتایج به دست آمده از مدل رگرسیون خطی می‌توان نتیجه گرفت با افزایش تعداد عابران منتظر، زمان انتظار عابران افزایش می‌یابد به طوری که به ازای افزایش هر یک عابر پیاده در تقاطع، زمان انتظار ۰/۱۰۶۹ درصد افزایش می‌یابد. از لحاظ آماری با توجه به آماره t ، این متغیر معناداری آماری بالایی دارد. از لحاظ شهودی نیز ممکن است عابران با حرکت گروهی و صحبت کردن به گذشت زمان توجه کمتری داشته باشند به همین علت مدت زمان بیشتری منتظر بمانند. پژوهش‌هایی همچون (Brosseau et al., 2013)، (Rosenbloom, 2009)، (Dommes et al., 2015)، (Truong et al., 2019) مطابقت دارد.

عابران در روز تعطیل زمان انتظار بسیار کمتری تجربه می‌کنند، علت این امر را می‌توان خلوت بودن خیابان‌ها دانست؛ زیرا با کاهش جریان ترافیک، عابران فرصت مناسب‌تری برای عبور از تقاطع پیدا می‌کنند. از میان متغیرهای مورد بررسی، مشاهده شد متغیر روز تعطیل بیشترین تأثیر را بر زمان انتظار عابر پیاده دارد، به طوری که در روز تعطیل زمان انتظار عابران پیاده ۰/۸۳۸۳ درصد کاهش می‌یابد. از لحاظ آماری نیز این متغیر معناداری بالایی دارد. از نتایج به دست آمده از مدل رگرسیون خطی می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش تعداد عابران منتظر، زمان انتظار عابران نیز افزایش می‌یابد. از نظر شهودی، در مواقعی که تعداد زیادی از افراد منتظر هستند، عابران به طور کلی کمتر تمایل به عبور غیرمجاز از تقاطع دارند. همچنین هنگام جمع‌آوری اطلاعات مشاهده شد، زمانی که یک عابر متخلف شروع به حرکت می‌کند، عابران دیگر نیز به ترتیب شروع به عبور از تقاطع می‌کنند؛ به این معنا که عابر دوم، سپس عابر سوم، و سپس سایر عابران به حرکت درآیند.

متغیرها و پارامتر نیکی برازش به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. در این مدل، متغیر زمان انتظار عابران پیاده به حالت لگاریتمی تبدیل شد. با استفاده از لگاریتم‌گیری این متغیر، مسئله نامنفی بودن زمان حل شده و اختلاف داده‌های پرت با سایر داده‌ها کاهش یافته است، که بهبودی در عملکرد مدل منجر می‌شود.

بحث

متغیر همراه داشتن کودک از لحاظ آماری و شهودی معناداری لازم را نداشت و از مدل حذف گردید. متغیر نوجوان با ضریب ۰/۳۹۳۴- نشان می‌دهد عابران پیاده با رده سنی نوجوان نسبت به جوانان ۰/۳۹۳۴ درصد زمان انتظار کمتری را تجربه می‌کنند که از لحاظ شهودی قابل قبول است. همچنین عابران پیاده با رده سنی میانسال نسبت به جوانان ۰/۰۷۷ درصد زمان انتظار بیشتری را تجربه می‌کنند. همچنین عابران با رده سنی کهنسال نسبت به جوانان ۰/۱۴ درصد زمان انتظار بیشتری تجربه می‌کنند. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سن عابران پیاده، عابران سعی می‌کنند زمان بیشتری را برای سبز شدن چراغ عابر پیاده صبر کنند. علت افزایش زمان انتظار با افزایش سن می‌تواند کاهش سطح هیجانانگیز و کاهش توانایی در پیاده روی باشد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های قبلی مانند (Diependaele, 2019)، کایو (Cao et al., 2017) و موخرچی (Mukherjee & Mitra, 2017) مطابقت دارد. با توجه به ضرایب t -value و p -value متغیرهای سن از لحاظ آماری با حاشیه اطمینان ۷۰ درصد معنادار هستند. دلیل این امر می‌تواند خطا در تشخیصی سن عابران باشد چراکه داده برداری در زمان شیوع کووید-۱۹ انجام گرفت و مردم در این زمان از ماسک استفاده می‌کردند به همین دلیل تشخیصی سن عابران با خطا همراه شده است. نتایج نشان می‌دهد که داشتن توشه همراه تأثیر مستقیم بر خستگی و سرعت عابران پیاده دارد. ضریب ۰/۲۵۱۳ حاکی از آن است که عابرانی که در هنگام عبور از تقاطع توشه همراه دارند، نسبت به کسانی که توشه همراه ندارند ۰/۲۵۱۳ درصد بیشتر منتظر می‌مانند. این امر می‌تواند به دلیل کاهش سرعت پیاده‌روی آنها باشد. وجود توشه همراه باعث می‌شود عابران به طور کلی کندتر حرکت کنند و در نتیجه زمان بیشتری برای عبور از تقاطع نیاز داشته باشند.

به‌عنوان مثال، عابرانی که توشه‌های سنگین، کیف‌های بزرگ یا وسایل دیگری را با خود حمل می‌کنند، ممکن است در حین

جدول ۲. نتایج مدل رگرسیون خطی زمان انتظار عابرپیاده

R-squared: 0/216

Prob (F-statistic): 2/01 E-22

متغیر	نماد	انحراف معیار	ضریب	آماره t
ثابت مدل	const	۰/۱۹۹	۱/۸۶۱	۹/۳۶۶
نوجوان	Teen	۰/۳۹۳	-۰/۳۹۳	-۱/۰۰۰
میانسال	MidAge	۰/۱۵۸	۰/۰۷۷	۰/۴۹۱
کهنسال	Old	۰/۱۸۲	۰/۱۴۷	۰/۸۱۱
جنسیت	Gender	۰/۱۴۴	-۰/۵۲۸	-۳/۶۶۴
توشه همراه	Luggage_d	۰/۱۴۳	۰/۲۵۱	۱/۷۵۹
اندازه گروه	Group_no	۰/۰۴۵	۰/۱۴۸	۳/۲۸۹
تعداد عابران منتظر	Waiting_ped	۰/۰۲۳	۰/۱۰۶	۴/۵۸۶
روز تعطیل	Hollyday_d	۰/۱۸۴	-۰/۸۳۸	-۴/۵۶۵

۵- نتیجه گیری

از میان عوامل اثرگذار، همراه داشتن کودک معناداری آماری کافی نداشته است. داشتن توشه همراه، تردد عابران به صورت گروهی و افزایش تعداد عابران منتظر در تقاطع باعث شد عابران در تقاطع زمان انتظار بیشتری را تجربه کنند. همچنین مشاهده گردید مردان نسبت به زنان و جوانان نسبت به سالمندان زمان انتظار کمتری را تجربه می کنند. از مشاهدات جالب این تحقیق اثر روز تعطیل بود. عابران پیاده در روز تعطیل تمایل دارند کمتر پشت چراغ قرمز منتظر بمانند.

۳۶ درصد عابران در تقاطع‌ها وقتی چراغ عابر پیاده قرمز است، بدون توجه به آن به حرکت خود ادامه می دهند. این وضعیت نامطلوبی است که نیازمند آگاهی بیشتر عمومی درباره قوانین ترافیکی و اهمیت رعایت حق تقدم است. میانگین زمان انتظار عابر پیاده در تقاطع مورد بررسی ۲۲،۵ ثانیه بود. به طور کلی با افزایش زمان انتظار چراغ عابر پیاده، تمایل عابران برای منتظرماندن کاهش یابد. همچنین مشاهده شد حداکثر زمان انتظاری که عابران تمایل دارند منتظر بمانند ۴۲ ثانیه است و با افزایش زمان این مقدار تعداد عابران کاهش چشم گیری داشت.

۶- پی نوشت ها

- 1- Random sampling
- 2- Linear parameters
- 3- Zero conditional mean
- 4- No multicollinearity
- 5- Homoscedasticity
- 6- Best Linear Unbiased Estimator

۷-مراجع

- Hamed, M. M. (2001). Analysis of pedestrians' behavior at pedestrian crossings. *Safety Science*, 38(1), 63–82.
doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00058-8
- Han, Y. xiong, & Huo, Y. ying. (2020). Study on the Behavior and Psychology of Pedestrian Traffic Violations on the Crosswalk. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 617, 685–696.
doi.org/10.1007/978-981-15-0644-4_53
- Holland, C., & Hill, R. (2010). Gender differences in factors predicting unsafe crossing decisions in adult pedestrians across the lifespan: A simulation study. *Accident Analysis and Prevention*, 42(4), 1097–1106.
doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.023
- Jain, A., Gupta, A., & Rastogi, R. (2014). Pedestrian crossing behaviour analysis at intersections. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 4(1), 103–116.
- Li, B. (2013). A model of pedestrians' intended waiting times for street crossings at signalized intersections. *Transportation Research Part B: Methodological*, 51, 17–28.
doi.org/10.1016/j.trb.2013.02.002
- Li, Y., & Fernie, G. (2010). Pedestrian behavior and safety on a two-stage crossing with a center refuge island and the effect of winter weather on pedestrian compliance rate. *Accident Analysis and Prevention*, 42(4), 1156–1163.
doi.org/10.1016/j.aap.2010.01.004
- Marisamynathan, S., & Vedagiri, P. (2018). Modeling pedestrian crossing behavior and safety at signalized intersections. *Transportation Research Record*, 2672(31), 76–86.
doi.org/10.1177/0361198118759075
- Mukherjee, D., & Mitra, S. (2017). What affects fatal pedestrian crashes at urban signalized intersections? A study on pedestrian behavior at signalized intersections in Kolkata using videographic survey. *Road Safety and Simulation International Conference. Road Safety Simulation International Conference, Hague, Netherlands*, 17–19.
- Mukherjee, D., & Mitra, S. (2020). A comprehensive study on factors influencing pedestrian signal violation behaviour: Experience from Kolkata City, India. *Safety Science*, 124(January), 104610.
doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104610
- شکرگذار، مهدی، دهشیری، محمدعلی و اکبرزاده، میثم (۲۰۲۰). تحلیل رفتار عابران در مواجهه با وسایل نقلیه هنگام عبور از گذرگاه‌های میان تقاطعی. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، ۱۱(۳)، ۶۰۹–۵۹۳.
- Bendak, S., Alnaqbi, A. M., Alzarooni, M. Y., Aljanaahi, S. M., & Alsuwaidi, S. J. (2021). Factors affecting pedestrian behaviors at signalized crosswalks: An empirical study. *Journal of Safety Research*, 76, 269–275.
doi.org/10.1016/j.jsr.2020.12.019
- Brosseau, M., Zangenehpour, S., Saunier, N., & Miranda-Moreno, L. (2013). The impact of waiting time and other factors on dangerous pedestrian crossings and violations at signalized intersections: A case study in Montreal. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 159–172.
https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.09.010
- Cao, Y., Ni, Y., & Li, K. (2017). Effects of refuge island settings on pedestrian safety perception and signal violation at signalized intersections. *TRB 96th Annual Meeting*, 750, 1–16.
- Diependaele, K. (2019). Non-compliance with pedestrian traffic lights in Belgian cities. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 67, 230–241.
doi.org/10.1016/j.trf.2016.11.017
- Dommes, A., Granié, M.-A., Cloutier, M. S., Coquelet, C., & Huguenin-Richard, F. (2015). Red light violations by adult pedestrians and other safety-related behaviors at signalized crosswalks. *Accident Analysis & Prevention*, 80, 67–75.
- Gorrini, A., Crociani, L., Vizzari, G., & Bandini, S. (2018). Observation results on pedestrian-vehicle interactions at non-signalized intersections towards simulation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 59, 269–285.
doi.org/10.1016/j.trf.2018.09.016
- Haghighi, M., Sadeghi-Bazargani, H., Bakhtari, F., Jahangiry, L., & Nadrian, H. (2021). Gender Differences in Pedestrians' Traffic Behaviors in Iran: A Study from a Candidate Safe Community. *Health Scope*, 10.
doi.org/10.5812/jhealthscope.110886

- Individual differences of pedestrian behaviour in midblock crosswalk and intersection. *International Journal of Crashworthiness*, 16, 1–9. doi.org/10.1080/13588265.2010.491715
- WISQARS™ — Web-based Injury Statistics Query and Reporting System. (2022). Centers for Disease Control and Prevention.
- World Health Organization. (2004). Pedestrian Safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners. In *Pedestrian Safety*. doi.org/10.4271/pt-112
- Zafri, N. M., Rony, A. I., & Adri, N. (2020). Study on Pedestrian Compliance Behavior at Vehicular Traffic Signals and Traffic-Police-Controlled Intersections. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 18(3), 400–411. doi.org/10.1007/s13177-019-00208-y
- Zhang, G., Tan, Y., & Jou, R. C. (2016). Factors influencing traffic signal violations by car drivers, cyclists, and pedestrians: A case study from Guangdong, China. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 42, 205–216. doi.org/10.1016/j.trf.2016.08.001
- Zhang, W., Wang, K., Wang, L., Feng, Z., & Du, Y. (2016). Exploring factors affecting pedestrians' red-light running behaviors at intersections in China. *Accident Analysis and Prevention*, 96, 71–78. doi.org/10.1016/j.aap.2016.07.038
- Zhang, Y., Qiao, Y., & Fricker, J. D. (2020). Investigating pedestrian waiting time at semi-controlled crossing locations: Application of multi-state models for recurrent events analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 137, 105437.
- Zhang, Y., & Wu, C. (2013). The effects of sunshields on red light running behavior of cyclists and electric bike riders. *Accident Analysis and Prevention*, 52, 210–218. doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.032
- Mustapha, A., & Abdu, A. (2012). Application of principal component analysis & multiple regression models in surface water quality assessment. *Journal of Environment and Earth Science*, 2(2), 16–23.
- Navarro-Rosas, A. A., & Obregón-Biosca, S. A. (2022). Pedestrian behavior in signalized intersections: Santiago de Querétaro. *Journal of Transport & Health*, 26, 101414. doi.org/10.1016/j.jth.2022.101414
- Osborne, J. W., & Waters, E. (2002). Four assumptions of multiple regression that researchers should always test. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 8(1), 2.
- Pathak, H. (2012). Evaluation of ground water quality using multiple linear regression and mathematical equation modeling. *Annals of the University of Oradea-Geography Series*, 2, 304–307.
- Patra, M., Perumal, V., & Rao, K. V. K. (2020). Modelling the effects of risk factor and time savings on pedestrians' choice of crossing facilities at signalised intersections. *Case Studies on Transport Policy*, 8(2), 460–470. doi.org/10.1016/j.cstp.2019.10.010
- Rosenbloom, T. (2009). Crossing at a red light: Behaviour of individuals and groups. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(5), 389–394. doi.org/10.1016/j.trf.2009.05.002
- Truong, L. T., Nguyen, H. T. T., Nguyen, H. D., & Vu, H. V. (2019). Pedestrian overpass use and its relationships with digital and social distractions, and overpass characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, 131(July), 234–238. doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.004
- Wang, J., Huang, H., Xu, P., Xie, S., & Wong, S. C. (2020). Random parameter probit models to analyze pedestrian red-light violations and injury severity in pedestrian–motor vehicle crashes at signalized crossings. *Journal of Transportation Safety and Security*, 12(6), 818–837. doi.org/10.1080/19439962.2018.1551257
- Wang, W., Guo, H., Gao, Z., & Bubb, H. (2011).

Model For Estimating the Pedestrians Waiting Time at Signalized Urban Intersections

*Ali Naderi Lordejani, M.Sc., Grad., Department of Road and Transportation Engineering,
Faculty of Civil Engineering and Environment, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

*Aminmirza Boroujerdian, Associate Professor, Department of Road and Transportation
Engineering, Faculty of Civil Engineering and Environment, Tarbiat Modares University,
Tehran, Iran.*

E-mail: boroujerdian@modares.ac.ir

Received: January 2025- Accepted: April 2025

ABSTRACT

Pedestrians are the most vulnerable group of road users. A high percentage of pedestrian accidents occur at signalized urban intersections. Despite the separation of pedestrian movements from motorized vehicles at signalized urban intersections, the statistics of pedestrian accidents and injuries at signalized intersections are significant. The most critical factor causing conflicts between pedestrians and vehicles is pedestrians crossing when the pedestrian signal is red and vehicles are in motion at the intersection. The aim of this research is to estimate pedestrian waiting times, also known as pedestrian waiting tolerance thresholds, at signalized urban intersections, and to identify the factors influencing them. For the assessment, data from 504 pedestrians at an intersection in Tehran were collected through field observation and videography. Then, a linear regression model was developed to estimate the waiting time of pedestrians at the intersection. Statistical and visual examination of the regression model revealed that variables such as gender, age, luggage carriage, the number of waiting pedestrians, pedestrian group count, and weekends significantly impact pedestrian waiting times. Among these variables, the weekend variable had the most significant impact on the waiting time of pedestrians. Additionally, it was observed that one-third of pedestrians entering the intersection cross without stopping, and other pedestrians prefer not to experience waiting times longer than 35 to 55 seconds. The results of this study will assist in the design of signalized urban intersections considering pedestrian tolerance thresholds.

Keywords: Pedestrian Waiting Time, Pedestrian Safety, Pedestrian Behavior